

第三章.反渗透系统设计指南

一套完整的反渗透系统由四部分组成：预处理部分、反渗透主机（膜过滤部分）、后处理部分和系统清洗部分。针对不同的进水水源及不同要求产水水质，设计合理的反渗透系统，能降低系统污染速度，延长系统清洗周期，降低清洗频率，提高系统的长期稳定性，降低系统运行的成本。

一般的设计步骤为：

- 1) 水源的水质全分析；
- 2) 针对进水水源设计合理有效的预处理方案；
- 3) 根据产水量和产水水质要求等设计合理的反渗透膜系统；
- 4) 若要求更高的产水水质，设计后处理部分（如混床处理或 EDI 处理系统）；
- 5) 设计合理的化学清洗系统；
- 6) 对于大型系统，设计中试试验系统校验设计参数。

3-1. 反渗透系统预处理部分设计

3-1.1 原水类型与水质分析

3-1.1.1 原水类型

反渗透系统的原水类型按照总溶解固体含量（TDS）和有机物含量来划分：

- ①RO 产水，TDS 一般小于 50mg/L；
- ②自来水，TDS 一般小于 500mg/L；
- ③苦咸水，TDS 一般小于 5000mg/L，按照有机物含量又可分为地表水和地下水；
- ④亚海水，TDS 一般介于 5000mg/L 与 15000mg/L 之间；
- ⑤海水，TDS 一般在 35000mg/L 左右；
- ⑥三级废水（中水），有机物含量较高（TOC 和 BOD 值高）。

不同类型的水源对应不同工艺的预处理和不同型号的膜元件，对于不具备水质分析或试验条件的小型工程项目，可参照相同类型水源的已投入运行的项目的预处理进行设计；但对于大型的工程项目必须进行水质全分析。

3-1.1.2. 水质分析项目

原水水质决定预处理工艺流程，全面的水质分析数据是设计合理的预处理系统，保证反渗透系统长期稳定运行的重要保证。表 1 为上远公司推荐的反渗透系统水质分析项目表。

表 1. 反渗透系统原水水质分析表

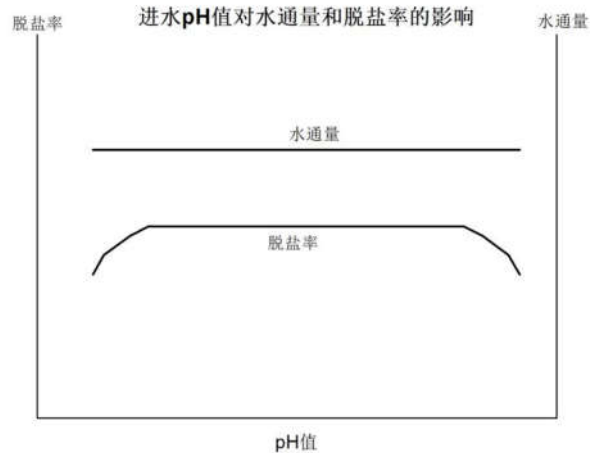
项目名称 _____		采样时间 _____		采样地点 _____	
原水水源 _____		分析时间 _____		分析人 _____	
pH		浊度 (NTU)			水温 (°C)
SDI ₁₅		电导率 (μS/cm)			ORP (mV)
离子成分		ppm	meq/L	离子成分	
钙离子 (Ca ²⁺)				氯离子 (Cl ⁻)	
镁离子 (Mg ²⁺)				硫酸根 (SO ₄ ²⁻)	
钠离子 (Na ⁺)				碳酸根 (CO ₃ ²⁻)	
钡离子 (Ba ²⁺)				碳酸氢根 (HCO ₃ ⁻)	
锶离子 (Sr ²⁺)				磷酸根 (PO ₄ ³⁻)	
钾离子 (K ⁺)				氟离子 (F ⁻)	
亚铁离子 (Fe ²⁺)				硝酸根 (NO ₃ ⁻)	
铁离子 (Fe ³⁺)				二氧化硅 (SiO ₂)	
铝离子 (Al ³⁺)				其它离子 (如硼离子)	
总阳离子				总阴离子	
TDS 总溶解固体(ppm)				生物需氧量 BOD (ppm)	
总悬浮固体 (SS)				总有机碳 TOC (ppm)	
硬度 (CaCO ₃ ppm)				化学需氧量 COD (ppm)	
总碱度 (mmol/L)				细菌个数 (个/mL)	
酚酞碱度 (mmol/L)				余氯浓度 (ppm)	

其中 Ba²⁺和 Sr²⁺必须分别检测到 1μg/L(ppb)和 1mg/L(ppm)数量级。

水质各分析项目说明及意义

(1) pH

原水的 pH 值反映了原水的酸碱性。pH=7 为中性；pH=0~7 为酸性；pH=7~14 为碱性。由于 pH 的变化影响离子的脱除率即系统的脱盐率变化，RO 最优的 pH 范围为 6~8，所以 pH 是预处理设计中的一个重要参数。另外降低进水 pH 值是控制碳酸钙沉淀析出的一种有效手段。pH 值对 RO 膜元件脱盐率的影响示意图如下图所示：



(2) 浊度

ISO 国际标准将浊度定义为由于不溶性物质的存在而引起液体透明度的降低。根据测试所使用的浊度标准液的不同，所得的浊度数值及单位也不同。现在国际、国内通用的是以六次甲基四胺+硫酸肼反应形成浊度标准液，用散射光浊度仪测得的浊度，以 NTU 表示，RO 系统进水要求浊度 <1NTU。

(3) 温度

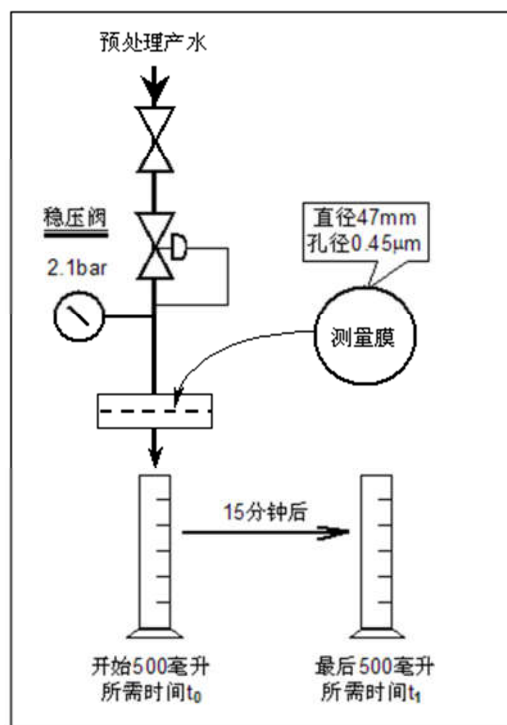
温度是反渗透系统设计中一个重要参数，必须明确。温度直接影响系统运行的压力（高压泵的选择）、膜元件数量、产水水质以及各种可能会沉淀析出的晶体的溶解度。一般情况下，温度每降低 3℃，RO 系统产水量降低约 10%；温度每降低 5℃，给水泵压力则需增加约 15%；温度升高，则 RO 系统透盐率增加即产水电导升高，温度降低则 RO 系统透盐率降低即产水电导降低。

(4) SDI 值

SDI（Silt Density Index）称为淤泥密度指数，有时也称为污染指数（Fouling Index，FI 值），是表征反渗透系统进水水质的重要指标，是判断反渗透进水胶体和颗粒污染程度的最好方法。SDI 值的具体标准检验法在美国 ASTM TEST（D189-82）的文件中有所叙述。

右图为 SDI 测试仪示意图

具体测试步骤如下：



SDI测试仪示意图

1. 首先取直径 47mm、孔径 0.45 μ m 测试过滤膜片放置在测试盒内(注意膜片的正反面), 拧紧密封, 将测试盒垂直放置。

2. 调节进水压力至 2.1bar (30psi) 并立即测定开始通过滤膜的 500(250)毫升水所需要的时间 T_0 ; 维持恒定压力 2.1bar, 连续过滤 15 分钟; 再次测通过滤膜的 500(250)毫升水所需要的时间 T_1 ;

3. 在测得 T_0 、 T_1 数据之后, 计算进水的 SDI 值:

即 $SDI_{15}=[1-T_0/T_1]*100/15$

在实际工程中, RO 系统要求 $SDI_{15}<5$, 当 T_1 为 T_0 的四倍时, SDI_{15} 为 5; 在 SDI_{15} 为 6.7 时, 水会完全堵塞测试膜, 而无法取得时间数据 T_1 , 在这种情况下需要对反渗透预处理系统进行调整, 使其 SDI_{15} 指标降至 5.0 以下。

通常 RO 系统给水 SDI_{15} 值低于 3 时, 膜系统的污染风险较低, 设备运行一般不会出现膜系统的过快污染; 当 SDI_{15} 大于 5 时, 则说明在反渗透系统运行时可能会引起严重的膜污染。

(5) 电导率、总溶解固体含量 (TDS)

电导率是表示水中溶解离子导电能力的指标。电导率用电导率仪测量, 其常用单位为微西门/厘米 (μ S/cm)。电导率是测量水中离子浓度的便捷方法, 但不能精确反应离子的构成。电导率随离子浓度增加而升高。

TDS (总溶解固体含量) 是过滤掉悬浮物及胶体蒸发掉全部水分后剩余的无机物。TDS 值可以用 TDS 测量仪直接测量, 或者通过测量水的电导率然后转换成 TDS 值。粗略算法: 对于氯化钠参考溶液, 每 2 μ S/cm 的电导率对应 1ppm 的 TDS。

(6) 氧化还原电位 ORP

氧化还原电位 ORP 是表征水体中氧化性物质和还原性物质多少的一种参数。氧化还原电位一般以毫伏 (mV) 为单位, 当氧化还原电位呈正值时表示水体中含氧化性物质, 当氧化还原电位呈负值时表示水体中含还原性物质。RO 系统进水一般要求 $ORP<200$ mV。

水体中的氧化物质通常是游离性氯、臭氧等, 聚酰胺复合膜的耐氧化性比较差, 北京上远公司系列膜元件要求的进水游离性氯含量不超过 0.1ppm。对于 ORP 较高的水源必须采用活性炭吸附或投加还原剂的方法去除水体中的氧化性物质。

有时自然界水体的氧化还原电位为负值, 这是因为这些水中含有 H_2S 、 SO_3^{2-} 、 Fe^{2+} 等。反渗透系统对 H_2S 和 Fe^{2+} 也很敏感, 因为这两种物质可能会在系统内部造成胶体污染和微生物污染, 可以采用活性炭吸附、氧化沉淀、絮凝过滤、离子交换等方法在系统预处理中去除。

(7) 离子成分

水中溶解的无机盐, 其阴阳离子结合后形成的难溶盐或微溶盐在一定温度下有一定的溶解度, 在 RO 系统中随着进水不断被浓缩, 超过其溶解度极限时, 它们就会在 RO 膜面上结垢。常见的难溶盐为

CaCO_3 、 CaSO_4 ，其他可能会产生结垢的化合物为 CaF_2 、 BaSO_4 、 SrSO_4 和 $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ 。如果原水中的阴离子可以形成以上难溶盐或微溶盐，其预处理中必须考虑结垢控制措施，防止难溶盐或微溶盐超过其溶解度而引发沉淀与结垢。

(8) 硬度

水的硬度是指水中钙、镁离子的浓度，硬度单位是 mg/L 以 CaCO_3 计 (mg/L as CaCO_3)。对于硬度和碱度都较高的水源，预处理工艺中应特别注意防止 CaCO_3 结垢。

	硬 度	
	meq/L	mg/L as CaCO_3
软(soft)	<1	<50
中度(moderately hard)	1~3	50~150
硬(hard)	3~6	150~300
高硬(very hard)	>6	>300

(9) 碱度

碱度是指水中能与强酸（一般用 0.1mol/L 的 HCl 标准溶液）反应的碱性物质的含量。碱度主要是表征水中重碳酸根 (HCO_3^-)、碳酸根 (CO_3^{2-})、氢氧根离子含量，分为酚酞碱度和总碱度。滴定时，用酚酞作指示剂（指示终点 $\text{pH}=8.3$ ）测得的碱度称为酚酞碱度；用甲基橙作指示剂（指示终点 $\text{pH}=4.4\sim 4.5$ ）测得的碱度称为甲基橙碱度，又称总碱度，因此酚酞碱度只是总碱度的一部分。酚酞碱度和总碱度间有一定的关系，如表 2：

表 2. 碱度同水中所含部分离子的关系

M 和 P 的关系	水中各类碱度的含量		
	HCO_3^-	CO_3^{2-}	OH^-
$M=0$ 即 $A=P$	0	0	A
$A>2P$ 即 $M>P$	$M-P$	$2P$	0
$A<2P$ 即 $M<P$	0	$2M$	$P-M$
$A=2P$ 即 $M=P$	0	A	0
$P=0$ 即 $A=M$	$A=M$	0	0

- 注： 1. 滴定所用的 HCl 标准液浓度为 0.1mol/L；
2. P 指用酚酞作指示剂时所用标准溶液体积；M 指用酚酞作指示剂滴定后继续用甲基橙作指示剂时，所用标准溶液体积；
3. $A=M+P$ ，即标准溶液的总消耗量；

(10) COD、BOD、TOC

水处理中一般用化学需氧量（COD）、生化需氧量（BOD）、总有机碳（TOC）三个指标来表示水中有机物含量。自然界中有机物种类繁多，水中的有机成分主要是腐殖酸、表面活性剂、油、微生物、农药等。

1) 化学需氧量（COD）是在一定的条件下，采用一定的强氧化剂处理水样时，所消耗的氧化剂量。它是表示水中还原性物质多少的一个指标。水中的还原性物质有各种有机物、亚硝酸盐、硫化物、亚铁盐等，但主要的是有机物。因此，化学需氧量（COD）又往往作为衡量水中有机物质含量多少的指标。测定方法有重铬酸钾法（ COD_{Cr} ）和酸性高锰酸钾法（ COD_{Mn} ）两种。重铬酸钾法多用于对工业废水的测定，对于天然水体，多采用酸性高锰酸钾法。由于重铬酸钾的氧化性比高锰酸钾强，通常情况下 COD_{Cr} 大于 COD_{Mn} 。

生化需氧量（BOD）是水中有机物由于微生物的生化作用进行氧化分解，使之无机化或气体化时所消耗水中溶解氧的总数量。其单位 ppm（毫克/升）。目前国内外普遍采用 20℃5 天培养时间所消耗的氧作为指标，称为 BOD_5 。

BOD_5 与 COD_{Cr} 的比值称为可生化性，表示水体所含的有机物中可由生物降解的有机物的含量，比值越高，可生化性越好，生化处理出水的有机物含量就越低；比值低则与此相反。

2) 总有机碳（TOC）：是以碳的含量表示水体中有机物质总量的综合指标。TOC 的测定采用燃烧法，能将有机物全部氧化，它比耗氧量更能直接表示有机物的总量，因此常被用来评价水体中有机物污染的程度。但是 TOC 的测定方法较复杂，对检测设备的要求很高，而且不能准确测定水中有机物的含量。

(11) 二氧化硅（ SiO_2 ）

大多数水源溶解性二氧化硅（ SiO_2 ）的含量在 1~100mg/L。过饱和 SiO_2 能够自动聚合形成不溶性的胶体硅或胶状硅，引起膜的污染。 SiO_2 污染是反渗透膜元件污染中比较严重的一种，因为一旦发生沉淀，极难进行清除。对含 SiO_2 的水源可采取投加阻垢剂、调节 pH 值（ SiO_2 在 pH=7~7.8 范围溶解度最低）、石灰纯碱软化、降低回收率，提高进水温度等工艺处理。

3-2. 反渗透预处理工艺中常用的水处理方法

对于反渗透膜元件而言，绝大多数情况下的水源是不能直接进入反渗透膜元件，因为其中所含的杂质会污染膜元件，影响系统的稳定运行和膜元件的使用寿命。预处理就是根据原水中杂质的特

性，采取合适的工艺对其进行处理，使其达到反渗透膜元件的进水要求的过程，因其在整个水处理工艺流程中的位置在反渗透之前，所以称为预处理。

对于反渗透系统，习惯地把进水分为地下水、自来水、地表水、海水、废水（中水）等，这些水体受各种因素的影响，不同的地理条件，不同的季节气候导致水体的特性及其所含的杂质有所不同，因此反渗透预处理工艺也会有所不同。合理地预处理应该能满足如下要求：

1. 反渗透预处理必须能够去除原水中的对膜产生污染的物质，达到膜元件的进水要求；
2. 反渗透预处理必须考虑水质的变化（如季节性的水量、水温等），防止原水水质波动时影响整个系统的稳定运行；
3. 反渗透预处理工艺必须能够高效、稳定的运行，同时尽量简化流程，降低投资和运行成本；

反渗透膜进水水质要求指标如表 3 所示：

表 3. 反渗透膜进水水质指标

项目		反渗透 RO (卷式聚酰胺复合膜)	超标后可能造成的反渗透膜 元件污染类型
1	浊度（度）	<1	淤泥、泥沙污染
2	淤塞密度指数 SDI ₁₅ 值	<5	淤泥、泥沙、胶体污染
3	pH 值	3~10	膜元件水解
4	水温(℃)	5~45	过低的温度导致过高的压力系统 不经济；高温将导致膜不可逆的性 能衰减
5	硬度(Ca、Mg)(mg/L)	与碱度一起考虑	无机盐结垢
6	碱度(HCO ₃)(mg/L)	与硬度一起考虑	碳酸盐结垢
7	BOD(mg/L)	<10	有机物污染
7	COD _{Mn} (O ₂ ,mg/L)	<15	有机物污染
8	TOC(mg/L)	<3	有机物污染
9	游离氯(mg/L)	<0.1	膜元件氧化
10	其它氧化性物质	检不出	膜元件氧化
11	铁(总铁计)(mg/L)	<0.05	铁污染
12	锰(mg/L)	<0.1	锰污染
13	阳离子、两性、中性表 面活性剂(mg/L)	检不出	不可逆的产水量衰减

14	洗涤剂、油分、H ₂ S 等 (mg/L)	检不出	有机物、油污污染
15	沉淀物盐等(mg/L)	浓水不发生沉淀	无机盐结垢

3-2.1. 絮凝和絮凝过滤

絮凝处理的对象是原水中的小颗粒悬浮物和胶体。絮凝的原理是通过添加化学药剂，使水中的这些杂质形成大颗粒絮状物，然后在重力作用下沉淀，与水分离。絮凝过滤是指在水中加入絮凝剂，水与絮凝剂在流经砂滤器的过程中反复接触进行絮凝反应，当生成的絮状体达到一定体积后则被截留在砂柱空隙之间，这些被截留的絮状体进一步吸附所流过水中的细小矾花，从而使水质得到澄清。絮凝过滤对胶体硅也有一定效果。

絮凝剂

常用的絮凝剂种类较多，一般多为铝盐、铁盐或有机絮凝剂，当单独使用一种絮凝剂不能取得较好效果时，还可添加助凝剂。投加助凝剂有两个目的，一是改善絮体结构，使其颗粒更大，利于沉淀；二是调整原水 pH 值，使其达到最佳絮凝效果。表 4 即是常见的絮凝剂和助凝剂。

絮凝过滤只能使用在进水浊度小于 70 度的原水中，这种进水一般多为自来水或地下水，对于高浊度水源（如地表水、废水等），需要跟其他水处理工艺联合处理，才能达到反渗透系统的进水要求。

正确选择水体最适合的絮凝剂品种及其最佳投加量，最好通过一定的实验来确定。过量的投加絮凝剂也会造成膜元件污染，尤其是使用二价铁盐和铝盐时，在使用这两种絮凝剂时需定时检测出水的 Fe²⁺ 和 Al³⁺ 离子浓度，防止膜元件的胶体污染。使用离子型聚合物絮凝剂时，也要防止阳离子型聚合物对普通带负电的膜元件和阴离子型聚合物对带正电膜元件的影响。絮凝剂的使用还必须保证不会同系统中添加的其它化学物质如阻垢剂等发生反应，具体的兼容性请咨询相关药剂的生产厂家。

絮凝过滤的设计条件和设备选用

设计条件：浊度小于 70 度的原水，一般采用多介质过滤，可采用重力式过滤或压力式过滤器。滤料的要求与普通双滤料滤池不同，颗粒较大，如下表：

滤料材质	粒径（mm）	不均匀系数	滤层厚度（mm）	滤速（m/h）
无烟煤	1.2~1.8	1.3	400~600	6~10
石英砂	0.5~1.0	1.5	400~600	6~10

滤池冲洗强度：15—17L/（S·M²）

冲洗时间：5—10min

重力式滤池最大水头损失：2.5—3m

压力式滤池最大水头损失：10m，一般采用 5m

石英砂过滤器使用前应冲洗 10—15 小时。

滤料中的无烟煤要求在酸碱中稳定，石英砂要求耐酸，在碱性溶液中有微量的溶出。采用絮凝过滤时用铁盐作絮凝剂的效果优于铝盐。过滤器的设计产水量应包含后续处理工艺的耗水量和过滤器自身的耗水量即冲洗水量。

表 4. 常用的絮凝剂与助凝剂种类及絮凝效果

絮凝剂种类		适用 pH	絮凝效果
无机盐类混凝剂	硫酸铝 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$	6~8	在水温低的情况下，絮粒较轻而疏松，处理效果较差
	硫酸铝钾(明矾) $\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 24\text{H}_2\text{O}$	6~8	硫酸铝和硫酸钾的复盐，其中硫酸钾不起混凝作用，故投加量较硫酸铝大
	三氯化铁 $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	4~11	处理浊度较高和水温较低的原水时，混凝效果比较显著。但易吸水潮解，对金属、混凝土均产生腐蚀
	硫酸亚铁 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	4~11	产生的絮粒重，沉降快，效果稳定，受水温影响小。但反应后产生溶解度大的 $\text{Fe}(\text{OH})_2$ ，需经氧化去除
无机高分子混凝剂	碱式氯化铝(PAC) $[\text{Al}_2(\text{OH})_n\text{Cl}_{6-n}]_m$ 式中 $n \leq 5, m \leq 10$	6~8	对各种水质适应性较强，絮凝过程中最优 pH 值范围较广，对低温水效果也较好，絮粒形成较快且颗粒大而重，投加后原水碱度降低较少，投量较硫酸铝为少
	聚合硫酸铁 $[\text{Fe}_2(\text{OH})_n(\text{SO}_4)_{3-n/2}]_m$ 式中 $n < 2, m > 10$	4~11	用量少，效果好（特别是脱色效果好），腐蚀性小，适用的 pH 范围广，残留铁量少
	聚合硫酸铝（PAS） $[\text{Al}_2(\text{OH})_n(\text{SO}_4)_{3-n/2}]_m$ 式中 $1 \leq n \leq 6, m < 10$	6~8	具有与聚合氯化铝相似的絮凝性能，并具有较好的脱色、除氟和去除高浊度水浊度的性能。用 PAS 处理后的水中残余铝量低，可过滤性强
有机高分子絮凝剂	聚丙烯酰胺（PAM）	8 以上，也可用在不太强的酸性水溶液中	使用最为广泛的人工合成有机高分子絮凝剂，一般控制其水解度 30%~40%，配合铝盐或铁盐作用，效果更佳
	阴离子型聚合物	6 以上	具有优良的絮凝效果，但价格较昂贵，不能使用在带正电的低污染膜元件的预处理中

凝 剂	阳离子型聚合物	6 以上	具有优良的絮凝效果，但价格较昂贵，不能使用在普通表面带负电的反渗透膜元件的预处理中
助 凝 剂	硅酸类，如活化硅酸粘土等	小于 9	作助凝剂很有效，但制备方法不易控制，使用期限短
	pH、碱度调节剂		常用盐酸、硫酸、石灰、氢氧化钠等
	氧化还原剂		用于铁、锰、氨氮的氧化，臭味的去除等

3-2.2. 吸附

吸附法是利用多孔性固体物质，吸附水中的某些污染物质在其表面，从而达到净化水体的方法。吸附法能去除的污染物包括：有机物、胶体、余氯，还能去除色度和臭味等。常用的吸附剂有活性炭，大孔吸附剂等，其形态分为粉末状和颗粒状。目前最常用的是颗粒状活性炭。

活性炭吸附

活性炭是用烟煤、无烟煤、果壳或木屑等多种原料经碳化和活化处理制成的黑色多孔颗粒。活性炭的物理特性主要指孔隙结构及其分布，在活化过程中形成各种形状和大小的孔隙，因而形成了巨大的比表面积，与水的接触面极大，因而吸附能力很强。活性炭不仅能吸附水中的各种污染物，还可以吸附废气中的 SO_2 等污染物，因此在环保、水处理等领域有着广泛的用途。

高品质的活性炭比表面积一般在 $1000\text{m}^2/\text{g}$ 以上，孔隙总容积一般可达 $0.6\sim 1.18\text{cm}^3/\text{g}$ ，孔径由 $0.001\sim 10\mu\text{m}$ ，按孔隙大小可分为大孔、过渡孔和微孔。它们的吸附能力也不同，如下表。活性炭产品有许多指标，表 5 为中华人民共和国国家标准 GB/T7701.4-1997《净化水用煤质活性炭》，请参考使用。

活性炭柱（过滤器）的设计

活性炭柱有压力式和重力式等多种形式。反渗透预处理中常用压力式活性炭柱，其形式和结构与机械过滤器类似。

活性炭过滤器可以做成单纯的活性炭柱，也可与石英砂组合成石英砂活性炭过滤柱，即可吸附余氯，有机物，又可去除悬浮固体。作石英砂活性炭过滤器，底部装 $0.2\sim 0.5\text{m}$ 厚承托层和石英砂滤料层，在其上装 $1.0\sim 1.5\text{m}$ 厚的活性炭，滤速为 $6\sim 12\text{m/h}$ ，但由于其填料层厚度较低，只能用于水质条件较好，悬浮物、余氯含量低的场合。还有单纯的活性炭过滤器，承托层上无石英砂，活性炭填料高度 $2.0\sim 3.0\text{m}$ ，滤速 $3\sim 10\text{m/h}$ ，反冲洗强度 $4\sim 12\text{L}/(\text{s}\times\text{m}^2)$ 。

表 5. 净化水用煤质颗粒活性炭技术指标

项 目		指 标		
		优级品	一级品	合格品
孔容积 (cm ³ /g)		≥0.65		
比表面积(m ² /g)		≥900		
飘浮率 (%)		≤2		
pH 值		6~10		
苯酚吸附值 (mg/g)		≥140		
水分 (%)		≤5.0		
强度 (%)		≥85		
碘吸附值 (mg/g)		≥1050	900~1049	800~899
亚甲蓝吸附值 (mg/g)		≥180	150~179	120~149
灰分 (%)		≤10	11~15	—
装填密度 (g/L)		380~500	450~520	480~560
粒度 (%)	>2.50mm	≤2		
	1.25~2.50mm	≥83		
	1.00~1.25mm	≤14		
	<1.00mm	≤1		

活性炭使用时注意事项

- 1) 活性炭在装入过滤器前应在清水中浸泡，冲洗去除污染物，装入过滤器后用 5%HCl 和 4%NaOH 溶液交替处理 1~3 次，滤速用 10~21m/h，用量约为活性炭体积的 3 倍左右，然后冲洗 8~10h。
- 2) 使用前应尽量去除水中的悬浮物和胶体，防止堵塞活性炭的微孔，一般进水要求悬浮物小于 3~5mg/L。
- 3) 活性炭过滤器吸附终点的判断，应根据去除物质的性质而定。反渗透预处理中活性炭的作用主要是去除余氯，应控制出水余氯含量小于 0.1mg/L，一旦超过，请及时对活性炭进行更换或者再生。

3-2.3. 精密过滤器（保安过滤器）

精密过滤也称微孔过滤、保安过滤，它采用加工成型的滤材，如滤布、滤纸、滤网、滤芯等，用以去除极微小的颗粒。

普通砂滤能够去除很小的固体颗粒，使出水浊度达到 1 左右，但出水仍然含有大量粒径在 1~5 μm 的颗粒，这些颗粒是砂滤无法去除的，虽然颗粒极小，可是如果直接进入反渗透主机，在 RO 膜的浓缩作用下，仍然会造成膜元件的污染，要去除这些颗粒，就必须采用精密过滤。

精密过滤器常设置在压力过滤器之后，有时也设置在整個预处理工艺的末端防止破碎的滤料、活性炭、树脂等进入反渗透系统，尽量做到不将上道工序产生的微粒带到下一道工序中去。滤孔孔径应与水中所含杂质的粒相匹配，避免过粗或过细。

精密过滤器的进水和出水口应设置压力表，其差值可以判断精密过滤器中滤芯的污染程度，一般当差值大于 15psi(0.1MPa)时，便需要更换其中的滤芯。

表 6. 常用精密过滤材料过滤精度

材料	去除微粒的最小粒径 (μm)	材料	去除微粒的最小粒径 (μm)
天然及合成纤维织布	100~10	泡沫塑料	10~1
一般网过滤	10000~10	玻璃纤维纸	8~0.03
尼龙编织网滤芯	75~1	烧结陶瓷(或烧结塑料)	100~1
纤维纸	30~3	微孔滤膜	5~0.1

3-2.4. 氧化

氧化是利用强氧化剂氧化分解水中污染物的一种化学处理方法。对于反渗透系统预处理而言，氧化通常是为了去除两类物质：

- ① 有机物
- ② 铁、锰

同时，氧化还可去除水中的色、味、臭及微生物等。氧化与絮凝、过滤、吸附等处理方式结合使用，可以达到良好的预处理效果。常用氧化剂主要有氯系和氧系两类，另外还可用 KMnO_4 等。

氯系： Cl_2 、 ClO_2 、 NaClO 等

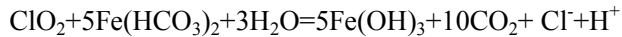
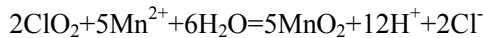
氧系： O_3 、 H_2O_2 等

1) 去除有机物

反渗透进水要求总有机碳 $\text{TOC} < 3\text{mg/L}$ ，过高的有机物将造成膜元件污染，必须在预处理中去除。从理论上讲，只要投入足够量的 O_3 、 ClO_2 、 Cl_2 等强氧化剂，可将大多数有机物彻底氧化为无机物，但氧化剂投加量大，反应时间长，成本较高，而且可能会产生有害的副产物。在 RO 预处理中通常只需使用强氧化剂打断有机物的长链，转换为小分子有机物，再用吸附等工艺去除。

2) 去除 Fe^{2+} 、 Mn^{2+} 等

通常自然界的水体中尤其是地下水都呈还原态，原因是其中含 Fe^{2+} 、 Mn^{2+} 、 H_2S 等还原态物质。 Fe^{2+} 是造成膜元件铁污染和胶体污染的原因之一，在反渗透进水中，即使 Fe^{2+} 的含量低于 0.1mg/L 仍可能形成铁污染，所以在处理此类水源时，多采用氧化法将 Fe^{2+} 、 Mn^{2+} 转化为难溶 Fe^{3+} 和 MnO_2 ，然后过滤去除。常用 ClO_2 、 O_2 、 Cl_2 氧化，其反应方程式如下：



ClO_2 对铁、锰的去除率比 Cl_2 高，对以铁、锰含量高的水源，建议采用 ClO_2 氧化去除。

需要注意，普通聚酰胺复合膜耐氧化性较差，以余氯计北京上远公司膜元件所能承受的最高进水余氯含量为 0.1mg/L ，因此在添加氧化剂的预处理中，还必须设置相应工艺去除残余的氧化剂，通常采用活性炭吸附或投加还原剂（ NaHSO_3 ）。

3-2.5. 杀菌消毒

自然界的水体均含有微生物，包括细菌、真菌、藻类、病毒、原生动物等。含有微生物的原水若不经杀菌处理直接进入反渗透膜元件，微生物会在反渗透浓缩作用下，富集在膜元件表面，形成微生物膜，严重影响膜元件的产水量和脱盐率，造成压力降增加，出现望远镜现象。而且膜元件出现微生物污染后，进行清洗的效果都不是很好，所以对含微生物的原水，尤其是地表水、海水、废水，必须在预处理中采取杀菌措施。针对此类水源建议选用抗氧化反渗透膜元件，便于简化预处理并且不存在膜元件被氧化的风险。常用的杀菌工艺包括物理杀菌和化学杀菌。

1) 物理杀菌主要是采用紫外线杀菌

波长为 254 纳米的紫外线杀菌效果最好。细菌受紫外线照射后，紫外光谱能量被细菌核酸所吸收，其活力发生改变，菌体内的蛋白质和酶的合成发生障碍，导致微生物发生变异或死亡。

2) 化学杀菌主要是采用投加杀菌剂达到灭菌的效果

化学杀菌剂分为氧化性杀菌剂和非氧化性杀菌剂。氧化杀菌剂包括 Cl_2 、 ClO_2 、 O_3 等；非氧化性杀菌剂主要是一些有机物，如 DBNPA、异噻唑啉酮、甲醛等。

使用氧化性杀菌剂时一定要注意，普通聚酰胺复合膜耐氧化性较差，以余氯计上远公司膜元件所能承受的最高进水余氯含量为 0.1mg/L ，因此在添加氧化杀菌剂的预处理中，还必须设置相应工艺去除残余的氧化剂，通常采用活性炭吸附或投加还原剂（ NaHSO_3 ）。

3-2.6. 针对难溶盐预防结垢

无机盐结垢是反渗透膜元件最常见的污染类型。自然界的大多数水体都含有饱和难溶盐类，如碳酸钙等，如果不经处理直接进入膜元件，在反渗透浓缩作用下，饱和盐类将达到过饱和浓度，

形成晶体在膜表面沉淀下来产生污染。

针对碳酸钙结垢，可以采用 LSI 指数和 S&DSI 指数来表示其结垢倾向。对于含盐量小于 10000ppm 的浓水，朗格利尔指数 LSI 作为表示 CaCO_3 结垢倾向的指标；对含盐量大于 10000ppm 的浓水，用史蒂夫和大为饱和指数 S&DSI 表示 CaCO_3 结垢倾向的指标。计算公式如下：

$$\begin{aligned} \text{LSI} &= \text{pHc} - \text{pHs} & \text{TDS} &\leq 10000\text{ppm} \\ \text{S\&DSI} &= \text{pHc} - \text{pHs} & \text{TDS} &> 10000\text{ppm} \\ \text{pHc} &\text{指浓水 pH 值} & \text{pHs} &\text{指 } \text{CaCO}_3 \text{ 饱和时的 pH 值} \end{aligned}$$

当 LSI 或者 S&DSI ≥ 0 时就会出现 CaCO_3 结垢。除非在膜系统中添加阻垢剂，否则必须保证 LSI 指数和 S&DSI 指数为负值。

对硫酸盐结垢，包括硫酸钙、硫酸钡、硫酸锶等难溶物质的预防结垢通常采用软化或加阻垢剂处理或者降低系统回收率。阻垢剂主要分三类：六偏磷酸钠、有机小分子磷酸盐和多聚丙烯酸盐，其优缺点如表 7，表 8 是常见难溶化合物溶度积常数。

表 7. 常用阻垢剂的性能比较

阻垢剂成分	阻垢效果	优点	缺点
六偏磷酸钠	差，只能保证 $\text{LSI} \leq 0.8$ 时不发生碳酸钙结垢	价格低廉	阻垢效果有限，而且不稳定，易水解，有产生磷酸钙结垢的风险
有机小分子磷酸盐	好， $\text{LSI} \leq 2.0$ 时不发生碳酸钙结垢	阻垢效果好	价格较高
多聚丙烯酸盐	好， $\text{LSI} \leq 3.0$ 时不发生碳酸钙结垢	阻垢效果好	价格较高

表 8. 难溶化合物溶度积常数

名称	分子式	Ksp	pKsp	名称	分子式	Ksp	pKsp
碳酸钡	BaCO_3	5.1×10^{-9}	8.29	碳酸镍	NiCO_3	6.6×10^{-9}	8.18
氟化钡	BaF_2	1.0×10^{-6}	6.00	碳酸铅	PbCO_3	7.4×10^{-14}	13.13
硫酸钡	BaSO_4	1.1×10^{-10}	9.96	氯化铅	PbCl_2	1.6×10^{-5}	4.79
碳酸钙	CaCO_3	2.9×10^{-9}	8.54	碳酸锌	ZnCO_3	1.4×10^{-11}	10.84
氟化钙	CaF_2	2.7×10^{-11}	10.57	氢氧化锌	Zn(OH)_2	1.2×10^{-17}	16.92
磷酸钙	$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$	2.0×10^{-29}	28.70	磷酸锌	$\text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2$	9.1×10^{-33}	32.04

硫酸钙	CaSO ₄	9.1×10^{-6}	5.04	硫化锌	ZnS	1.2×10^{-23}	22.92
氢氧化钙	Ca(OH) ₂	1.55×10^{-6}	5.81	碳酸亚铁	FeCO ₃	3.2×10^{-11}	10.50
氢氧化铜	Cu(OH) ₂	5.6×10^{-20}	19.25	氢氧化亚铁	Fe(OH) ₂	1.6×10^{-14}	13.80
硫化铜	CuS	8.5×10^{-45}	44.07	硫化亚铁	FeS	6.3×10^{-18}	17.20
氯化铜	CuCl ₂	1.2×10^{-6}	5.92	氢氧化铁	Fe(OH) ₃	1.1×10^{-36}	35.96
碳酸镁	MgCO ₃	3.5×10^{-8}	7.46	磷酸亚铁	FePO ₄	1.3×10^{-22}	21.89
氟化镁	MgF ₂	6.4×10^{-9}	8.19	硫酸铅	PbSO ₄	1.6×10^{-8}	7.80
氢氧化镁	Mg(OH) ₂	1.2×10^{-11}	10.92	碳酸锶	SrCO ₃	1.1×10^{-10}	9.96
氨化磷酸镁	MgNH ₄ PO ₄	2.0×10^{-13}	12.70	硫酸锶	SrSO ₄	3.2×10^{-7}	6.49
碳酸锰	MnCO ₃	1.8×10^{-11}	10.74	氟化锶	SrF ₂	2.4×10^{-9}	8.61
氢氧化锰	Mn(OH) ₂	4.0×10^{-14}	13.40	氢氧化铝	Al(OH) ₃	2.0×10^{-33}	32.70

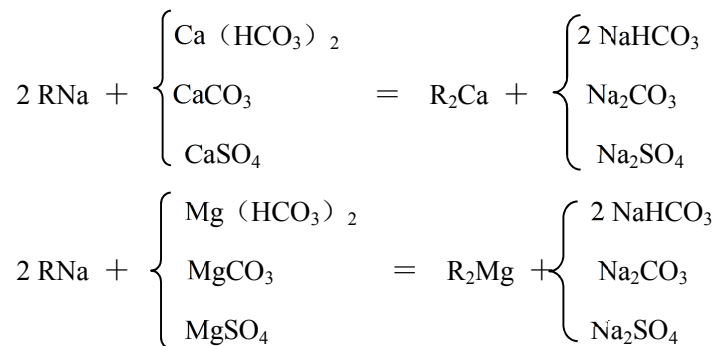
3-2.7. 软化

软化是指采用化学方法，去除水体中硬度的处理方法。分为离子交换软化和药剂软化两种。

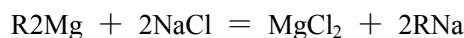
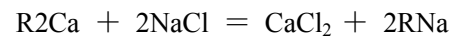
药剂软化是根据溶度积原理，使水中所含硬度在适当条件下转化为难溶化合物而去除的过程。药剂软化通常采用石灰软化工艺，可以有效降低钙、镁、钡等离子浓度，但由于要使用专用反应器，而且产水 pH 值会升高，运行成本较高，一般用在大型苦咸水系统中，目前反渗透预处理常用的软化方法是离子交换软化。

离子交换软化是指采用离子交换剂，将水体中硬度组成部分钙镁等离子同离子交换剂有效交换基团（通常是钠离子）反应，从而使水质达到软化的效果。其原理如下：

交换：



再生：



由于离子交换软化需要进行树脂再生，耗费再生液，同时也会有高浓度含盐废水产生，对于高硬度水经济性较差，因而使用条件受限，目前只有小型系统使用，大中型系统一般采用添加阻垢剂来防止无机盐结垢污染。

3-2.8. 典型预处理方法针对不同污染物处理效果一览表

预处理	CaCO ₃	CaSO ₄	BaSO ₄	SrSO ₄	CaF ₂	SiO ₂	SDI	Fe	Al	细菌	氧化剂	有机物
加酸调 pH	▲							△				
投加阻垢剂	△	▲	▲	▲	▲	△						
离子树脂软化	▲	▲	▲	▲	▲							
离子交换脱碱												
石灰软化												
预防性清洗												
调节操作参数						▲						
多介质过滤												
氧化一过滤								▲				
在线凝絮												
絮凝一助凝							▲					▲
微滤 / 超滤						▲	▲					▲
滤芯式过滤												
氯化氧化										▲		
加还原剂											▲	
冲击处理												
预防性杀菌												
粒状活性炭过滤											▲	▲

△ 一般有效

▲ 非常有效

3-3.反渗透膜过滤系统的设计

反渗透膜过滤系统的设计包括膜元件、压力容器排列、高压泵、管道、仪器仪表等。设计者的职责是使所设计的系统尽可能降低操作压力和膜元件的成本，但尽可能提高产水量和回收率以及系统的长期稳定性与清洗维护费用(故障率低，可采用低廉药品进行有效清洗)。

3-3.1. 膜元件的设计导则

对膜系统设计影响最大的因素是进水的污堵倾向，膜元件污堵是由于进水中存在颗粒物、胶

体物质、有机物等并在膜面沉积，污堵物沉积速度随着系统平均产水率(单位膜面积上的产水负荷)和元件回收率（影响浓差极化度）的增加而增加。因此，过高的系统平均产水率和系统回收率很容易产生更高的污堵速率和更频繁的清洗。

设计导则是根据不同类型的水源中大量的工程项目设计及运行数据总结出的经验数值，依照此导则设计的系统其运行周期更长、清洗频率更低。注意本导则是设计系统的一种参考，不能作为承诺的质保。

表 9 膜元件系统设计原则

给水类型		RO 产水	自来水	地表水		海水		废水	
				微滤	常规处理	微滤	常规处理	微滤	常规出来
给水 SDI ₁₅		<1	<3	<3	<5	<3	<5	<3	<5
推荐系统产水率 (GFD)		25~30	16~20	14~18	12~16	8~12	7~10	8~13	7~12
元件最大回收率（%）		30	20	17	15	13	10	13	10
gpd(m ³ /d) 最大产水量	4040 膜元件	2400 (9.1)	2000(7.6)	1600(6.1)	1500(5.7)	1400(5.3)	1200(4.5)	1400(5.3)	1200(4.5)
	8040 膜元件	11000(42)	9100(34)	7900(30)	7200(27)	6400(24)	5700(22)	6400(24)	5700(22)
gpm(m ³ /h) 最小浓水量	4040 膜元件	2(0.5)	3(0.7)	3(0.7)	3(0.7)	3(0.7)	4(0.9)	4(0.9)	5(1.1)
	8040 膜元件	10(2.3)	13(3.0)	13(3.0)	15(3.4)	13(3.0)	15(3.4)	18(4.1)	20(4.6)
gpm(m ³ /h) 最大给水量	4040 膜元件	16(3.6)	16(3.6)	16(3.6)	16(3.6)	16(3.6)	16(3.6)	16(3.6)	16(3.6)
	8040 膜元件	75(17)	75(17)	73(16.6)	67(15)	70(16)	62(14)	61(14)	61(14)

3-3.2. RO 膜系统的设计步骤

(1)收集、了解进水水源、水质及变动情况，确定选用膜元件的类型、系统平均产水率(gfd或L/m²h)。根据进水水源水质特性，选择合适的膜元件类型。进水电导小于1000μs/cm，且超低压膜脱盐率满足要求则选用超低压膜元件（IU）；进水为苦咸水则选用苦咸水系列（IWL）；；废水回用则选择抗污染膜（FR）；海水淡化则选用海水膜系列（SW）。系统产水量<3吨/小时则选择4040或更小尺寸的膜元件，系统产水量≥3吨/小时则选择8040膜元件。

‘系统平均产水率’可根据现场试验数据、经验数据确定，或者根据水源类型查阅设计导则，找

出推荐的系统平均产水率。

(2)根据产水流量、回收率以及产水水质，确定系统串联元件数、段数及级数

级：指原水的渗透次数，即产水透过反渗透膜元件的次数。多级系统可以提高最终产水水质，但降低了系统回收率。一级反渗透的脱盐率可达 98%~99%，因而多级反渗透可实现 99.5%以上的脱盐率。

段：指原水流经压力容器的次数，即浓缩水流经不同压力容器的次数。

采用多段系统可以在实现高系统回收率情况下，避免末端膜元件浓水流量偏小和回收率过高导致的污染加剧。段的层次有时不像级那么清晰，流经了数个压力容器，但未必是多段，如某些场地条件下无法使用较长的压力容器，就采用多个短容器串联，所以确定 RO 系统段数时可以留意，进水分成几部分分别进入压力容器后是否重新混合，每次进水（浓水）的重新混合就标志每一段的结束。

根据期望的设计回收率确定需要串联膜元件数。但是串联过多的膜元件，将导致最后的膜元件回收率上升，增加发生无机盐结垢的风险，所以一般很少采用能串联 6 支以上膜元件的压力容器，多采用分段方法。目前，多数反渗透膜系统采用两段的形式，三段或多于三段的系统只在回收率要求很高或浓缩时采用。当要求回收率较高而膜元件较少时，可考虑浓水回流。回收率与串联膜元件数的关系如下：

表 10 回收率与串联元件数关系

串联元件数量	系统最高回收率（%）
1	15~20%
2	28~33%
3	38~43%
4	43~48%
5	43~52%
6	50~60%
12	70~80%
18	85~90%

(3)计算所需的膜元件数量 $N_{\text{膜元件}}$ 及所需的压力容器数

膜元件数 $N_{\text{膜元件}} = \text{设计产水量} / (\text{系统平均产水率} \times \text{膜面积})$ ；

压力容器数=膜元件数总数 $N_{\text{膜元件}}$ /单支压力容器装膜元件数，结果取整。

(4)排列方式的确定

对于多段系统，正常运行时，由于进水流经每根膜元件都会有部分透过膜元件成为产水，

使得进入下一支膜元件的水流量降低，因此为了保证每一段的进水流量足够大（保证膜表面的冲刷力），防止污染物在膜表面的沉积，后一段压力容器数量都比前一段的压力容器数量少，前后相邻两段的压力容器数量的比值一般在 4：3 到 3：1 之间，较高的比值可以有效的增加后段的进水流量，较低的比值可以降低前一段中各支膜元件的回收率。一般在 3：2 到 2：1 之间较为常见，多为 2：1。

举例如下：

假定：水源为自来水， $SDI_{15}<5$ ；要求产水量 $100m^3/h$ ；回收率 75%；进水电导 $500\mu s/cm$ ，产水电导符合纯净水标准。

第 1 步：水源为自来水，进水电导 $500\mu s/cm$ ，产水电导符合纯净水标准即 $<10\mu s/cm$ ，则要求系统脱盐率 $>97\%$ ，可选择超低压系列膜元件。

系统平均产水率’根据‘水源为自来水， $SDI_{15}<5$ ’查设计导则可知‘水源为自来水， $SDI_{15}<3$ ’时为 16~20GFD，因 $SDI_{15}<5$ 故取 16GFD 或更小。

第 2 步：根据系统回收率 75%，系统脱盐率 $>98\%$ ，则约需要串联 12 支膜元件；可采用一级二段的 RO 系统即能满足系统要求。

第 3 步：选择 IU-8040(有效膜面积 $400ft^2$ ，即 $37m^2$)，系统产水量 $100m^3/h=440.92gpm$ ，膜元件数 $=440.92*60*24gpd/(16*400)=99$ 支；

压力容器数 $=99$ 支 / 6 支 $=16.5$ 个（按照 17 支膜壳计算）。

第 4 步：17 个压力容器，可采用约 2：1 比例，即排列 12：5。

这个程序可以计算进水压力、系统产水品质以及每支元件的运行参数，并可十分方便地改变膜元件的数量、品种和排列来优化系统设计。

3-3.3.膜系统设计的其他注意事项

1) 反渗透系统的压力容器应单独安装在特制的架子上，压力容器的两端必须有足够的空间，便于安装和更换膜元件。

2) 由于反渗透系统运行时压力容器受压会有程度的伸长，所以在固定压力容器及其管路时，不能限制压力容器的正常形变。同时压力容器受压伸长后，膜组件在系统启停机或进水流量有变化时可能在压力容器中来回移动，所以在安装膜元件时可以用专用垫片固定膜元件，防止窜动导致膜元件损坏。

3) 高压泵在启动和停止时会产生水力冲击（水锤），如果直接作用在膜元件上，会造成膜袋粘结线破裂等现象，所以反渗透系统必须设计相应的装置防止或者降低水锤对膜元件的冲击。大型反渗透装置通常采用变频泵、软启动或者电动慢开门（电动蝶阀）来防止水力冲击，建议

采用变频泵或者软启动。

4) 单支膜元件的压力降不得超过 15psi，过高的压力降将导致膜元件沿水流方向伸出，发生望远镜现象，或者膜元件玻璃钢外壳的破裂，造成膜元件的损坏。因此在反渗透系统运行期间，应确保单支膜元件压力降不超过 15psi，单个压力容器压力降不超过 60psi，一旦超过，请及时对膜元件进行相应的清洗。

5) 反渗透膜元件在任何情况下承受的背压都不能超过 5psi，过高的背压会使得膜表面的聚酰胺脱盐层脱落，造成膜元件不可恢复的损伤。上远公司膜元件能承受的背压不超过 5psi。

6) 北京上远公司推荐反渗透系统在设计时在每次系统启动和停止时对膜元件进行低压冲洗。另外在系统短期停运期间（不超过 7 天）时，每天能用反渗透产品水对膜元件进行冲洗。注意在任何冲洗时，冲洗水必须能满足反渗透膜元件的进水要求，冲洗流量也不能超过单支膜元件的最大进水流量。

7) 温度的测量。对于反渗透系统，进水的温度会影响很多参数，如电导率，产水量、进水压力等，因此在反渗透系统上建议安装在线温度测定仪，作为日常运行参数记录的一项，便于将运行参数标准化，对系统运行做出正确的判断。对于进水温度较高的水源，还必须设置温度报警装置，当进水温度超过 45℃时能发出警报，必要时停止反渗透系统的运行。

8) 电导率的测量。对于反渗透系统安装的在线电导率仪，必须能够进行温度补偿，即将所测电导率补偿到 25℃时，从而便于计算系统的脱盐率，另外，电导率仪使用前必须根据设备提供商指定的操作步骤进行电极的校正，校正准确之后才可以使用。测量进水电导率仪的安装位置应在最后一种化学物质添加之后，也就是高压泵前；产水电导率仪的安装位置在后处理工艺之前。条件允许的情况下，可以安装多个产水电导率仪来测量不同位置的产水电导，获得系统运行的更为详细的运行参数。每根压力容器都应该设有单独的产水取样口，当系统产水电导率异常上升时便于判断发生的位置。

9) 脱盐率的计算：

$$\text{脱盐率}(\%) = (1 - \text{产水 TDS} / \text{进水 TDS}) \times 100\%$$

准确的脱盐率要通过对产水和进水进行化学分析，测定相应的 TDS 含量才能计算出来，但是这样比较麻烦，一般采用电导率转换为 TDS 来计算脱盐率。

具体的转换公式如下：

$$\text{TDS} = K \times \text{EC}_{25}$$

TDS 单位是 mg/L 即 ppm

EC₂₅ 是经温度校正到 25℃的电导率，单位 μs/cm

EC₂₅ 所有盐类都当成 NaCl 且不考虑 CO₂ 的透过性。

表 11 电导率与含盐量的换算系数

溶液	电导率 EC ₂₅ (μs/cm)	K
产水	0~300	0.50
苦咸水	300~4000	0.55
	4000~20000	0.67
海水	40000~60000	0.70
浓水	60000~85000	0.75

10) pH 值的测量。主要是测量进水的 pH 值，这一参数是计算 LSI 指数，判断结垢倾向的重要指标。同时也可以监测化学清洗时清洗液的 pH 值。

11) ORP 的测量。对于预处理采用了氧化杀菌或者其他使用氧化剂的处理工艺的反渗透预处理系统，为了去除剩余的氧化剂，一般都会在其后添加还原剂来保护膜元件，此时测量最终进水的氧化还原电位 ORP，可以判断还原剂的添加量是否足够，是否有氧化剂进入了反渗透膜元件。

12) 压力表的安装。压力表在使用前必须进行校正，压力表的安装位置应该满足以下测量要求：

- ◆ 能够测量出各段系统的进水压力和出水压力；
- ◆ 能够测量出原水压力、进水压力、产水压力；
- ◆ 能够测量砂滤器、炭滤器、保安过滤器的进水压力和出水压力，判断是否应进行过滤器清洗或者滤芯的更换；
- ◆ 高压泵的进出口应该有压力开关，当进口压力过低或者出口压力过高时，采取及时措施，保护高压泵和膜元件不受损伤；

13) 对于反渗透系统管路和高压泵材质的选择，要求产水管路不污染水质，推荐采用溶出物极少的 PPR 或铝塑管；进水管路要求使用不污染进水的锈钢管或钢衬胶管材；低压进水管路和浓水排放管可以采用普通高分子材质的给水管；高压管路和高压泵的材质根据进水含盐量，采用不同规格的不锈钢。（见下表）

表 12 管路材质和进水含盐量及压力的关系

进水种类	压力 (MPa)	含盐量 (ppm)	管路材质
产水	<0.3	5~200	PPR、铝塑管等

进水	<0.5	1000~50000	UPVC、PVC、PE、ABS 等
	0.5~1.5	1000~5000	304 不锈钢
	1.5~2.0	5000~7000	316L 不锈钢
	2.0~3.0	7000~25000	904L 不锈钢
	>3.0	25000 以上	254SMO 不锈钢
浓水	<0.5	1000~50000	UPVC、PVC、PE、ABS 等